

普通高等教育“十三五”规划教材

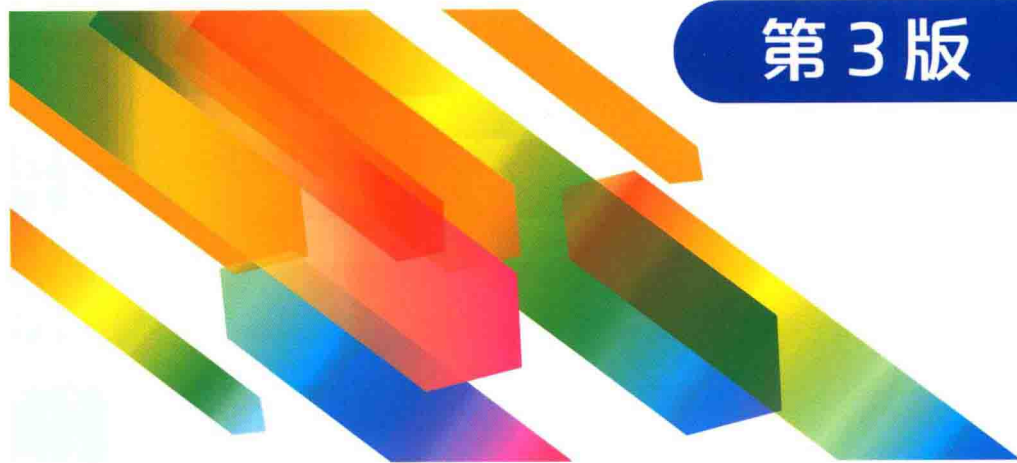
机电系统 动态仿真

基于

MATLAB/Simulink

陈新元 傅连东 蒋林◎编著

第3版



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十三五”规划教材

机电系统动态仿真—— 基于 MATLAB/Simulink

第3版

陈新元 傅连东 蒋林 编著



机械工业出版社

本书重点介绍如何利用 MATLAB/Simulink 进行机电液动态系统的建模、性能分析以及综合设计。其第 1~4 章系统地介绍了动态仿真所应当掌握的 MATLAB 基本知识和操作,第 5~8 章介绍了机电液系统建模、时间响应、频率响应、控制系统综合校正等相关专业知识、算法以及进行仿真所对应的 MATLAB 函数,第 9 章重点介绍了 Simulink 的特点及利用 Simulink 进行机电液系统动态仿真的方法。

本书可作为理工科院校机械类(含机电类)相关专业,如机械设计制造及其自动化、机械电子工程、车辆工程、测控技术与仪器等专业学习计算机动态仿真技术的教材或参考书,也可供相关专业的研究生或科研人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

机电系统动态仿真:基于 MATLAB/Simulink/陈新元,傅连东,蒋林编著. —3 版. —北京:机械工业出版社,2018.11

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-111-61449-4

I. ①机… II. ①陈… ②傅… ③蒋… III. ①机电系统—自动控制—系统—系统仿真—Matlab 软件—高等学校—教材 IV. ①TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 267441 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:王康 责任编辑:王康 王小东

责任校对:张晓蓉 封面设计:马精明

责任印制:孙炜

天津千鹤文化传播有限公司印刷

2019 年 1 月第 3 版第 1 次印刷

184mm×260mm·13.75 印张·332 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-61449-4

定价:35.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833 机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649 机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

前 言

《机电系统动态仿真——基于 MATLAB/Simulink》第 1 版于 2005 年出版，为适应 MATLAB 软件的更新和功能的扩展，2011 年 12 月以 MATLAB7.0 为基础进行修订出版了第 2 版，主要对教材中部分章节的例题和习题进行了充实和完善，在第 9 章增加了一节介绍 MATLAB 的 S-函数。转眼又 6 年多过去了，MathWorks 的 MATLAB R2016b 版已经成为目前主要应用版本，工具箱得到进一步扩充和完善，工作环境、操作界面等方面发生了很大变化，为使读者能够更好地学习使用 MATLAB 软件，编写组决定以 MATLAB R2016b 版为软件平台对教材进行再次修订。

本次修订后的结构仍保持与第 2 版一致：第 1~4 章介绍 MATLAB 的基本知识，这部分内容是利用 MATLAB 进行系统仿真所必须的基础；第 5~8 章介绍与机电控制系统计算机仿真有关的算法、MATLAB 函数以及相应的专业知识；第 9 章重点介绍 MATLAB 的高效仿真工具 Simulink，以及利用 Simulink 进行机电系统仿真的方法。

本次修订后的学习和讲授方法也与第 2 版保持一致：教材中关于 MATLAB 软件使用的内容，读者完全可以通过自学加以掌握。但教材第 5~9 章中部分例题、习题因涉及机电的专业知识，有一定难度或可能需要花费较多时间，因此使用本教材的教师可根据具体情况给予一定指导和对教学内容进行取舍。“笋因落箨方成竹，鱼为奔波始化龙”，在学习掌握 MATLAB 这一仿真利器和深入理解机电系统动态建模的基础理论后，两者科学地结合，多练习，才能得出具有参考价值的仿真结果，真正指导实践工作。

本次修订工作征求了课程团队许仁波、钱新博、卢艳、王念先、郭媛等教师的意见，主要对操作界面、图片进行了更新，对相应文本说明进行了调整。另外，考虑到科学探索和试验研究活动中常常通过便携设备实时采集数据，而后期分析处理时一般需要将文本数据转化成曲线，针对这一实际需求，在第 3 章增加了试验数据的图形表达一节，讲解了读取 Excel 格式数据文件和 *.dat、*.txt 文本格式数据文件并绘制成曲线的方法。

研究生高荟超、宋彪、余晨阳共同承担了本次修订的插图处理工作，在此表示衷心感谢！

本书凝结了刘白雁教授多年的心血。由于他已经退休，特将本版的修订工作委托给编者。在本次修订即将付印之际，对他的无私提携表示衷心的感谢！

古人云：行百里者半九十。如果将编写一本优秀的教材看成是一个百里征程的话，那本次修订距完善仍很遥远，因此恳请读者提供宝贵意见，以便该教材能够不断改进。编者 Email: chenxinyuan@wust.edu.cn (陈新元)。

编 者

目 录

前 言

第 1 章 MATLAB 基础 1

1.1 概述 1

1.1.1 MATLAB 的发展历程 1

1.1.2 MATLAB 的基本组成和特点 2

1.2 MATLAB 操作界面 3

1.3 指令窗口运行 5

1.3.1 数值、变量和表达式 5

1.3.2 指令窗口操作 7

1.4 历史指令窗口 9

1.5 当前目录窗口、路径设置器和文件管理 9

1.5.1 MATLAB 的搜索路径 9

1.5.2 当前目录浏览器 9

1.6 工作空间窗口和数组编辑器 11

1.6.1 工作空间窗口 11

1.6.2 数组编辑器 11

1.7 M 文件编辑器和 M 脚本文件编写 12

1.7.1 M 文件编辑器简介 12

1.7.2 M 脚本文件的编写 12

1.8 使用 MATLAB 帮助 14

习题 1 15

第 2 章 数组及其运算 17

2.1 简介 17

2.2 数值数组的生成和寻访 17

2.2.1 数值数组的生成 17

2.2.2 数值数组的寻访 21

2.3 数组运算和矩阵运算 23

2.3.1 执行数组运算的常用函数 23

2.3.2 数组和矩阵运算 24

2.4 “非数”和“空”数组 25

2.4.1 非数 25

2.4.2 “空”数组 26

2.5 数组的关系运算和逻辑运算 27

2.5.1 关系运算 27

2.5.2 逻辑运算 28

2.6 字符串数组 29

2.6.1 字符串数组的创建与操作 29

2.6.2 串操作函数 30

2.6.3 串转换函数 31

2.7 元胞数组 33

2.7.1 元胞数组的创建和显示 33

2.7.2 元胞数组内容的调取 34

2.8 构架数组 35

习题 2 35

第 3 章 数据和函数的可视化 37

3.1 二维曲线绘图 37

3.1.1 plot 的基本调用格式 37

3.1.2 曲线的色彩、线型和数据点型 39

3.1.3 图形控制 40

3.2 三维绘图 50

3.2.1 plot3 的基本调用格式 50

3.2.2 三维网线图和曲面图 50

3.3 图形窗口功能简介 58

3.3.1 图形窗口工具条 58

3.3.2 图形编辑 59

3.4 试验数据的图形表达 62

3.4.1 EXCEL 数据文件绘图 62

3.4.2 文本数据文件绘图 63

习题 3 65

第 4 章 MATLAB 编程 66

4.1 MATLAB 程序控制 66

4.1.1 for 循环结构 66

4.1.2 while 循环结构 67

4.1.3 if-else-end 分支结构 67

4.1.4 switch-case 结构 68

4.1.5 try-catch 结构	69	5.3.2 模型并联	95
4.1.6 控制程序流的其他常用指令	70	5.3.3 反馈连接	95
4.2 M 脚本文件和 M 函数文件	70	5.4 机电系统建模举例	96
4.2.1 M 脚本文件	70	5.4.1 半定系统建模	96
4.2.2 M 函数文件	70	5.4.2 机械加速度计建模	98
4.2.3 M 函数文件的一般结构	71	5.4.3 磁悬浮系统建模	99
4.2.4 局部变量和全局变量	72	5.4.4 液动力元件建模	100
4.3 变量的检测传递和限权使用函数	72	习题 5	101
4.3.1 输入、输出参量检测指令	72	第 6 章 系统时间响应及其仿真	103
4.3.2 子函数	73	6.1 仿真算法	103
4.3.3 私有函数	75	6.1.1 数值积分的基本原理	103
4.4 串演算函数	75	6.1.2 数值积分方法的选择	108
4.4.1 eval	75	6.1.3 基于离散相似法的系统 仿真方法	108
4.4.2 feval	76	6.2 系统仿真的 MATLAB 函数	109
4.4.3 内联函数	76	6.2.1 数值积分方法的 MATLAB 函数	109
4.5 函数句柄	77	6.2.2 时间响应仿真的 MATLAB 函数	113
4.5.1 函数句柄的创建和观察	77	6.3 采样控制系统仿真	117
4.5.2 函数句柄的基本用法	77	6.3.1 采样控制系统的基本组成	117
4.6 符号计算	78	6.3.2 采样控制系统仿真特点	118
4.6.1 符号对象和使用	78	6.3.3 采样控制系统仿真方法	118
4.6.2 符号表达式的操作	80	习题 6	120
4.6.3 符号微积分	81	第 7 章 系统频率响应及其仿真	123
习题 4	83	7.1 频率特性的一般概念	123
第 5 章 系统模型	85	7.1.1 频率响应与频率特性	123
5.1 系统仿真概述	85	7.1.2 Nyquist 图与 Bode 图	124
5.1.1 系统仿真及其分类	85	7.1.3 稳定裕度	124
5.1.2 仿真模型与仿真研究	86	7.2 连续系统频率特性的 MATLAB 函数	125
5.2 系统数学模型	86	7.2.1 频率响应的计算	125
5.2.1 系统时域模型	86	7.2.2 频率特性图示法	127
5.2.2 系统传递函数模型	87	7.3 离散系统频域仿真	131
5.2.3 系统零极点增益模型	88	7.4 系统分析图形用户界面	133
5.2.4 状态空间模型	88	习题 7	137
5.2.5 系统模型的转换	90	第 8 章 控制系统的综合与校正	139
5.2.6 系统模型参数的获取	91	8.1 系统性能指标的计算	139
5.2.7 时间延迟系统建模	92		
5.2.8 模型属性设置和获取	93		
5.3 系统模型的连接	94		
5.3.1 模型串联	94		

8.1.1 时域指标	139	9.2 模块库和系统仿真	164
8.1.2 频域指标	142	9.2.1 Simulink 模块库	164
8.2 系统校正的 MATLAB 编程	143	9.2.2 Simulink 环境下的仿真运行	174
8.2.1 相位滞后校正	143	9.3 子系统的创建与封装	179
8.2.2 PID 校正	146	9.3.1 子系统的创建	179
8.3 控制系统设计举例	150	9.3.2 子系统的封装	181
8.3.1 汽车悬架系统控制	150	9.3.3 条件子系统	185
8.3.2 阀控液压马达速度控制系统	152	9.4 Simulink 仿真举例	190
习题 8	155	9.4.1 曲柄滑块机构的运动学仿真	190
第 9 章 Simulink 动态仿真	158	9.4.2 悬吊式起重机动力学仿真	194
9.1 Simulink 基本操作	158	9.4.3 阀控液压缸的动刚度分析	196
9.1.1 启动 Simulink	158	9.5 S-函数简介	199
9.1.2 打开空白模型窗口	160	9.5.1 S-函数的概念	199
9.1.3 建立 Simulink 仿真模型	161	9.5.2 编写 M 文件 S-函数	202
9.1.4 系统仿真运行	163	习题 9	208
9.1.5 仿真结果的输出和保存	164	参考文献	211

第 1 章 | MATLAB 基础

系统仿真是根据被研究的真实系统的数学模型研究系统性能的一门学科，现在尤指利用计算机去研究数学模型行为的方法，即数值仿真。数值仿真的基本内容包括系统、模型、算法、计算机程序设计及仿真结果显示、分析与验证等环节。

在系统仿真技术的诸多环节中，算法和计算机程序设计是很重要的环节，它直接决定问题是否能够正确求解，而 MATLAB 正是解决这一问题的首选软件。本章对 MATLAB 的基本结构及其基本操作做简要介绍。

1.1 概述

1.1.1 MATLAB 的发展历程

MATLAB 名字由 MATrix 和 LABoratory 两词的前三个字母组合而成。1980 年前后，时任美国新墨西哥大学计算机科学系主任的 Cleve Moler 教授出于减轻学生编程负担的动机，为学生设计了一组调用 LINPACK（基于特征值计算的软件包）和 EISPACK（线性代数软件包）库程序的“通俗易懂”的接口，此即用 FORTRAN 编写的萌芽状态的 MATLAB。

早期的 MATLAB 只能做矩阵运算，并且只能用星号描点的形式画图，内部函数也只有几十个。当时作为免费软件在大学里使用，虽然其功能十分简单，但却深受大学生们的喜爱。

1984 年 Cleve Moler 和 John Little 成立了 The MathWorks 公司，正式把 MATLAB 推向市场。1990 年推出了首个可以运行于 Microsoft Windows 下的版本 MATLAB 3.5i；1993 年推出的 MATLAB 4.0 版本充分支持在 Microsoft Windows 下的编程。1997 年推出的 MATLAB 5.0 版本支持更多的数据结构。1999 年推出的 MATLAB 5.3 进一步改善了 MATLAB 语言的功能，其全新版本的最优化工具箱和 Simulink 3.0 都达到了很高档次。2000 年 10 月推出的 MATLAB 6.0 在操作界面上有了很大改观，其数值计算的速度更快、性能更好，与 C 语言接口及转换的兼容性更强，与之配套的 Simulink 4.0 增加了更多的功能。2001 年 6 月推出了 MATLAB 6.1 版及 Simulink 4.1 版功能更加强大，其新的虚拟现实工具箱给仿真结果的三维视景显示提供了新的解决方案。2002 年 8 月问世的 MATLAB 6.5 版及 Simulink 5.0 版在已有版本上做了进一步的改进，如增加了变量名、函数名、文件名的最大长度，改进了开发环境和外部接口等。2004 年 5 月发布了 MATLAB 7.0 和 Simulink 6.0，MATLAB 7.0 的最大亮点在于添加了图形的交互创建和编辑功能，同时在操作界面上也得到了加强；Simulink 6.0 则针对大规模的系统开发进行了性能优化。2004 年 9 月发布的 MATLAB 7.0.1 提高了 MATLAB 7.0 的稳定性和运行性能。

从 2006 年开始，MathWorks 公司的 MATLAB 产品的发布形式发生了变化，即分别在每年的 3 月和 9 月各进行一次 MATLAB 的产品发布，版本的命名方式为“R+年份+代码”，对

应上、下半年的代码分别是 a 和 b。目前的最新版本是 R2018a，由于最新版的软件应用范围还较小，因此，本教材主要介绍基于 MATLAB R2016b 的系统仿真。

现在的 MATLAB 当然已不再仅仅是一个“矩阵实验室”，它以强大的科学计算与可视化功能、简单易用、开放式可扩展环境，数十种面向不同领域的工具箱支持，是设计研究单位和工业部门进行高效研究、开发的首选软件工具，在科学研究和产品开发中有着广阔的前景和巨大的潜能，如：

- 数据分析
- 数值和符号计算
- 工程与科学绘图
- 控制系统设计
- 数字图像信号处理
- 财务工程
- 建模、仿真、校验
- 应用开发
- 图形用户界面设计

1.1.2 MATLAB 的基本组成和特点

MATLAB 集计算、可视化及编程于一身。在 MATLAB 中，无论是问题的提出还是结果的表达都采用人们习惯的数学描述方法，而不需用传统的编程语言进行前后处理。这一特点使 MATLAB 成为数学分析、算法编写及应用程序开发的良好环境。

1. MATLAB 的主要构成

MATLAB 是由一系列的模块构成，简述如下：

- (1) MATLAB The MathWorks 公司所有产品的数值分析和图形处理的基础环境。
- (2) MATLAB Toolbox 这是一系列针对不同领域应用的专用 MATLAB 函数库。工具箱是开放、可扩展的，用户可以查看其中的算法或开发自己的算法。
- (3) MATLAB Compiler 该编译器可将用 MATLAB 语言编写的 M 文件自动转换成 C 或 C++ 文件。结合 The MathWorks 公司提供的 C/C++ 数学库和图形库，用户可以利用 MATLAB 快速地开发出功能强大的独立应用。
- (4) Simulink 这是一种结合了框图界面和交互仿真能力的极其简便的动态系统仿真工具。
- (5) Stateflow 与 Simulink 框图模型相结合，描述复杂事件驱动系统的逻辑行为，驱动系统在不同的模式之间进行切换。
- (6) Real-Time Workshop 直接从 Simulink 框图自动生成 C 或 ADA 代码，用于快速原型和硬件的回路仿真。

2. MATLAB 语言的特点

MATLAB 语言被称为第四代计算机语言。正如第三代计算机语言（如 FORTRAN、C 等）使人们摆脱了计算机硬件的束缚一样，MATLAB 语言可帮助软件开发者从烦琐的程序代码中解放出来。MATLAB 丰富的函数使开发者无须重复编程，只需简单地调用即可。

MATLAB 语言有以下几个主要特点。

(1) 编程效率高 用 MATLAB 编写程序犹如在演算纸上排列公式,因此也通俗地称 MATLAB 语言为演算纸式科学算法语言。用户既可以在命令窗口中将输入语句与执行命令同步,也可以先编写好一个较大的复杂的应用程序(M 文件)后再一起运行。由于它编写简单,因而编程效率高,易学易用。

(2) 使用方便 MATLAB 语言是一种解释执行的语言,无须编译、链接,而是将编辑、编译、链接和执行融为一体;它能在同一界面上进行灵活操作,快速排除程序中的各类错误,从而加快了用户编写、修改和调试程序的速度。

(3) 高效方便的科学计算 MATLAB 拥有 600 多种数学、统计及工程函数,可使用户立刻实现所需的强大的数学计算功能。由各领域的专家学者们开发的数值计算程序,使用了安全、成熟、可靠的算法,从而保证了最大的运算速度和可靠的结果。


(4) 先进的可视化工具 MATLAB 提供功能强大的、交互式的二维和三维绘图功能。可使用户创建富有表现力的彩色图形。可视化工具包括:曲面渲染、线框图、伪彩图、光源、三维等位线图、图像显示、动画、体积可视化等。

(5) 开放性、可扩展性强 MATLAB 所有核心文件和工具箱文件都是公开的、可读可写的源文件,是可见的 MATLAB 程序,所以用户可以查看源代码、检查算法的正确性,修改已存在的函数,或者加入自己的新部件,包括:运行时动态连接外部 C、C++ 或 FORTRAN 应用函数;在独立 C、C++ 或 FORTRAN 程序中调用 MATLAB 函数;输入输出各种 MATLAB 及其他标准格式的数据文件;创建图文并茂的技术文档,包括 MATLAB 图形、命令,并可通过 MS-Word 输出等。

(6) 特殊应用工具箱 MATLAB 对许多专门的领域开发了功能强大的模块集和工具箱。一般来说,它们都是由特定领域的专家开发的,用户可以直接使用工具箱学习、应用和评估不同的方法而不需要自己编写代码。MATLAB 的工具箱加强了对工程及科学中特殊应用的支持。工具箱也和 MATLAB 一样是完全用户化的,可扩展性强。将某个或某几个工具箱与 MATLAB 联合使用,可以得到一个功能强大的计算组合包,满足用户的特殊要求。

(7) 高效仿真工具 Simulink Simulink 是用来建模、分析和仿真各种动态系统的交互环境,包括连续系统、离散系统和混杂系统。Simulink 提供了采用鼠标拖放的方法建立系统框图模型的图形交互界面。通过 Simulink 提供的丰富的功能块,用户可以迅速地创建系统的模型,不需要书写一行代码。同时,Simulink 还可以方便地调用 MATLAB 提供的各种功能。

1.2 MATLAB 操作界面

要进入 MATLAB 工作环境,只需单击 MATLAB 图标即可。MATLAB R2016b 的主界面即用户的工作环境,包括菜单栏、工具栏、开始按钮和各个不同用途的窗口,操作界面如图 1-1 所示。

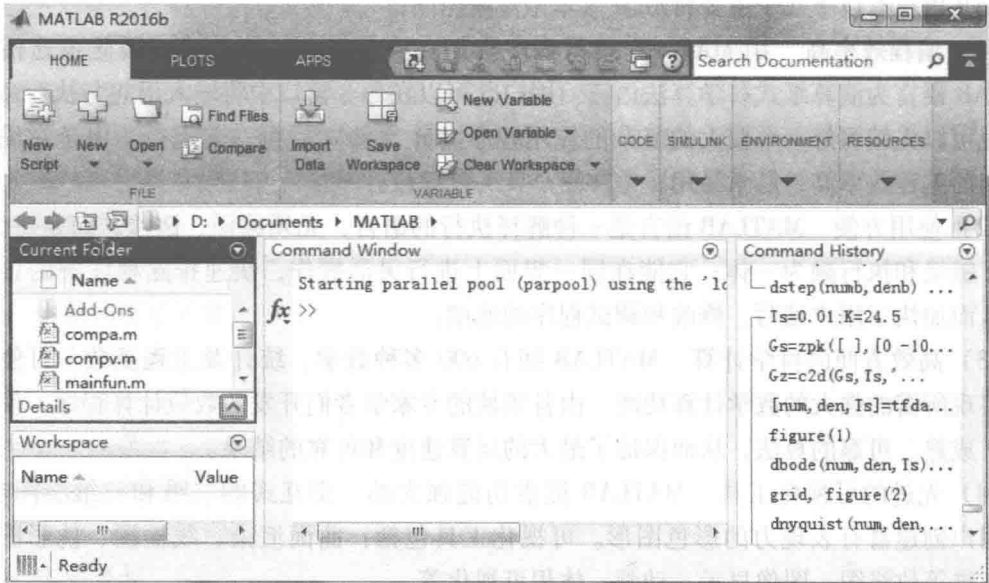


图 1-1 MATLAB R2016b 版本的默认操作界面

MATLAB 的菜单/工具栏中包含 3 个选项：HOME（主页）、PLOTS（绘图）和 APPS（应用程序）。

1) 主页选项下包含若干功能模块，本书所涉及的绝大部分运用都可在本操作界面内完成。

- 文件的新建、打开、查找等；
- 数据的导入、保存工作空间、新建变量等；
- 代码分析、程序运行、命令清除等；
- 窗口布局；
- 预设 MATLAB 部分工作环境、设置当前工作路径；
- 系统帮助；
- 附加功能等。

2) 绘图选项下提供数据的绘图功能。

3) 应用程序选项则提供了各应用程序的入口。

对于图 MATLAB R2016b 的 HOME 主页选项下的常用窗口简介如下：

(1) 指令窗口（Command Window） 该窗口是进行各种 MATLAB 操作的最主要窗口，默认情况下启动 MATLAB 时就会打开命令窗口。在该窗口内可输入各种需要 MATLAB 运行的指令、函数、表达式，并显示除图形外的所有运算结果。



(2) 历史指令窗口（Command History） 该窗口记录已经运行过的指令、函数、表达式。

(3) 工作空间窗口（Workspace） 罗列 MATLAB 工作空间（即内存中）所有变量的名称、类型、字节数等。

(4) 当前目录窗口（Current Folder） 可进行当前目录设置，展示、复制、编辑和运

行相应目录下的 M 文件。

1.3 指令窗口运行

MATLAB 指令窗口默认位于 MATLAB 操作界面的右下区域，单击该指令窗口右上角的  键，再选择【Undock】键就可获得如图 1-2 所示的独立指令窗。若要让该独立指令窗缩回 HOME 主页选项界面，则要单击  键，再选择【Dock】键即可（MATLAB 操作界面上的其他通用窗口都可类似操作）。

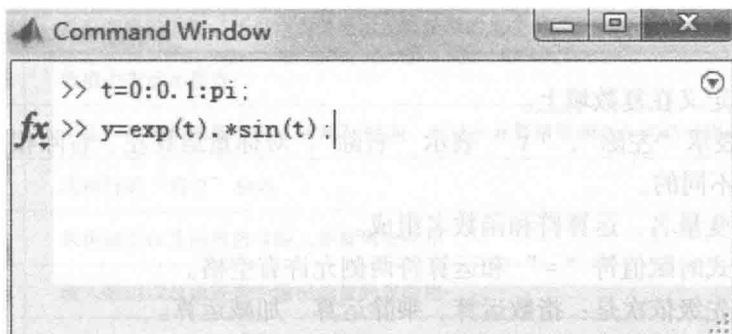


图 1-2 独立指令窗口

1.3.1 数值、变量和表达式

1. 数值

MATLAB 的数值采用大家习惯的十进制表示，以下记述都是合法的：3，-99，0.001，9.578，1.3e-4，2.78e23。

2. 变量命名规则

- 变量名、函数名对字母大小写敏感，如 MAY、may 表示不同变量。
- 变量名第一个字母必须是英文字母，不能超过 64 个字符，且只能由英文、数字和下划线组成，如 my_ var 是合法的变量名。

3. MATLAB 默认的预定义变量

ans	计算结果的默认变量名
i 或 j	虚单元 $i=j=\sqrt{-1}$
pi	圆周率 π
eps	浮点相对精度, 2^{-52} , 可视为机器零
Inf 或 inf	无穷大, 如 $1/0$
NaN 或 nan	不是一个数 (Not a Number), 如 $0/0, \infty/\infty$
realmax	最大正实数
realmin	最小正实数

4. 运算符和表达式

MATLAB 的基本运算符和表达式如表 1-1 所示。

表 1-1 运算符和表达式

	数学表达式	运算符	MATLAB 表达式
加	$a+b$	$+$	$a+b$
减	$a-b$	$-$	$a-b$
乘	$a \times b$	$*$	$a * b$
除	$a \div b$	$/$ 或 \backslash	a/b 或 $b \backslash a$
幂	a^b	$^$	a^b

[说明]

- 所有运算定义在复数域上。
- 用“/”表示“左除”，“\”表示“右除”。对标量运算左、右除相同；但对矩阵来说，左、右除是不同的。
- 表达式由变量名、运算符和函数名组成。
- 书写表达式时赋值符“=”和运算符两侧允许有空格。
- 运算的优先级依次是：指数运算、乘除运算、加减运算。

5. 复数和复数矩阵

MATLAB 直接以复数矩阵为数值运算对象，标量为矩阵的子集，实数为复数的子集。如可直接在指令窗口中输入 $-5+3i$ 或 $-5+3j$ （ $3i$ 或 $3j$ 之间不能有空格），以及复数形式的矩阵，同时 MATLAB 还提供了有关复数操作的专门指令：

- `real (z)` 给出复数 z 的实部
- `imag (z)` 给出复数 z 的虚部
- `abs (z)` 给出复数 z 的模
- `angle (z)` 给出复数 z 的相角（弧度单位）

[说明]

- 在指令窗口中输入复数 c 的两种表达式都是合法的：

```
c=3+5i
```

```
c=3+5 * i
```

它们为相同的复数。但如果复数的虚部用变量名表示，则该变量名和虚单元之间必须要用“*”隔开。以下的复数 c 的表示是正确的：

```
a=3
```

```
b=5
```

```
c=a+b * i
```

以上所输入的各种形式的复数 c ，在 MATLAB 指令窗口中运行后均显示为如下形式：

```
c =
```

```
3.0000 + 5.0000i
```

1.3.2 指令窗口操作

1. MATLAB 中的标点符号

标点符号在 MATLAB 语言中有重要作用，应当熟悉各种标点符号的用法，一些常用的标点符号的功能如表 1-2 所示。

表 1-2 MATLAB 中常用的标点符号的功能

名称	标点	作用
空格		输入量之间、数组元素之间分隔符
逗号	,	具有空格的功能，还可作为要显示运算结果的指令间的分隔符
黑点	.	数值中表示小数点
分号	;	不显示计算结果指令的“结尾”标志；不显示计算结果的指令间的分隔符；数组行间分隔符
注释号	%	注释行的“启首”标志
圆括号	()	数组援引以及函数指令输入参量列表时用
方括号	[]	输入数组以及函数指令输出参量列表时用
花括号	{ }	元胞数组记述符
单引号对	' '	字符串记述符
冒号	:	用以生成一维数组以及用于表示数组下标（全行或全列）
下连符	_	可用于变量、函数或文件名的连字符以便于记、读
“@”符号	@	在函数名前形成函数句柄
续行号	...	由三个以上连续黑点构成，其下的物理行为为该行的“继续”

2. 指令窗口常用控制指令

指令窗口中常用的一些指令如表 1-3 所示。熟悉这些指令对提高 MATLAB 使用效率是有帮助的。

表 1-3 指令窗中常用的控制指令

指令	含 义	指令	含 义
cd	设置当前工作目录	edit	打开 M 文件编辑器
clf	清除图形窗	exit	关闭/退出 MATLAB
clc	清除指令窗中显示内容	quit	关闭/退出 MATLAB
clear	清除 MATLAB 工作空间保存的变量	mkdir	创建目录
dir	列出指定目录下的文件和子目录清单	type	显示指定 M 文件的内容

3. 指令窗口指令行的编辑

MATLAB 是一种类似 Basic 语言的解释性语言，指令语句逐条解释逐条执行。要对输入到

指令窗口或在指令窗口已经运行过的指令进行修改编辑，需用到表 1-4 所示的行编辑指令。

表 1-4 指令窗口指令行的编辑

键名	含 义	指令	含 义
↑	前寻式调回已输入过的指令行	end	使光标移到当前行的尾端
↓	后寻式调回已输入过的指令行	Delete	删去光标右边的字符
←	在当前行中左移光标	Backspace	删去光标左边的字符
→	在当前行中右移光标	PageUp	前寻式翻阅当前窗中的内容
Home	使光标移到当前行的首端	PageDown	后寻式翻阅当前窗中的内容

[说明]

• 除利用以上操作对指令窗口中已输入的指令进行编辑外，还可结合历史指令窗口完成指令的编辑。

• 指令窗口的一行中可同时输入多条指令，不同的指令间须用逗号“,”或分号“;”隔开，这两种符号的区别如表 1-2 所示。

【例 1-1】简单矩阵的输入。

(1) 一行输入，用“;”作行间间隔符。在指令窗中依次输入以下字符：

```
A=[1,2,3; 4,5,6; 7,8,9]
```

```
A =
```

```
1    2    3
4    5    6
7    8    9
```

(2) 分行输入，依次输入以下字符（用<Enter>键换行）：

```
A=[1,2,3
```

```
4,5,6
```

```
7,8,9]
```

```
A =
```

```
1    2    3
4    5    6
7    8    9
```

【例 1-2】指令的续行输入。

在指令窗口中依次输入：

```
>> S=1-1/2+1/3-1/4+1/5-1/6+1/7 ...
```

```
-1/8,W=S*10
```

```
S =
```

```
0.6345
```

```
W =
```

```
6.3452
```

[说明] 续行号与其前面的最后一个字符应至少用一个空格隔开。

1.4 历史指令窗口

历史指令窗口 (Command History) 如图 1-3 所示。该窗口记录着用户在指令窗口中输入过的所有指令行, 且所有这些被记录的指令行都能被复制, 并送到指令窗中再运行。对指令窗的操作过程如下:

1) 利用 <Ctrl+鼠标左键> 组合键点亮窗中所需指令行。

2) 鼠标光标在点亮区时, 单击鼠标右键, 引出下拉菜单; 选中下拉菜单中对应的功能项即可。

下面是几个常用的选项:

【Evaluate Selection】 计算所选指令, 并将结果显示在指令窗中。

【Copy】 可将所选指令“复制”到任何地方。

【Create Live Script】 将所选指令创建成实时脚本。

【Create Shortcut】 将所选指令创建为快捷键, 快捷键的名称在弹出的对话框中定义。

[说明]

- 直接双击历史指令窗口中的指令行, 即可执行该指令。
- 如果操作界面上没有显示历史指令窗口, 可在 HOME 页面的主菜单【Layout】的下拉菜单中选择【Command History】, 再单击【Docked】即可。也可在指令窗口中直接输入 command history 指令打开。

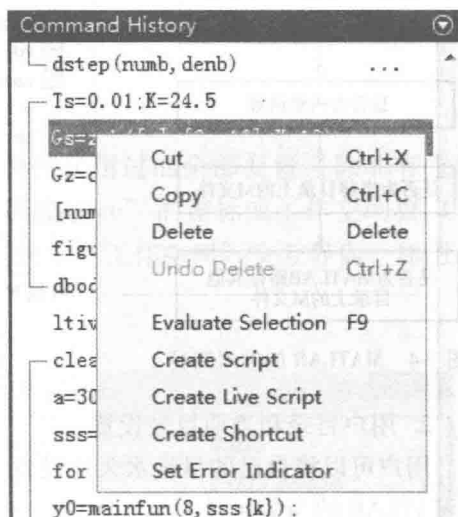


图 1-3 历史指令窗口的操作

1.5 当前目录窗口、路径设置器和文件管理

1.5.1 MATLAB 的搜索路径

MATLAB 的所有文件都存放在一组目录下。MATLAB 把这些目录按优先次序设计为“搜索路径”上的各个节点。此后 MATLAB 工作时, 就沿着此搜索路径, 从各个目录上寻找所需调用的文件、函数、数据。

当在指令窗中输入一个指令后, MATLAB 对该指令的基本搜索过程如图 1-4 所示。凡不在搜索路径上的内容, 不可能被搜索到, 因而也不可能被执行。

如果在 MATLAB 搜索路径下不止一个函数具有相同函数名, MATLAB 将只执行搜索中遇到的第一个函数, 而其他的同名函数将被屏蔽且不能执行。

1.5.2 当前目录浏览器

1. 当前目录的构成

当前目录 (Current Folder) 由文件详细列表、M 或 MAT 文件描述区构成, 如图 1-5 所示。其中, 文件详细列表区可运行 M 文件、装载 MAT 文件、编辑文件等; M 或 MAT 文件

描述区是所选文件的帮助注释内容，以帮助用户了解该文件。例如要运行当前目录浏览器中的某个 M 文件，只需单击鼠标左键点亮该行，再单击鼠标右键引出下拉菜单，选中【Run】项即可。

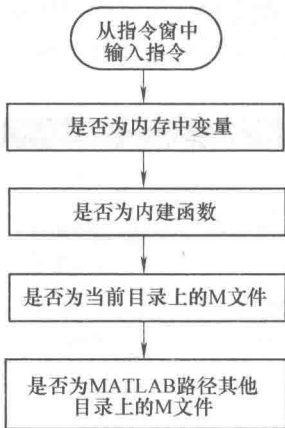


图 1-4 MATLAB 的搜索路径

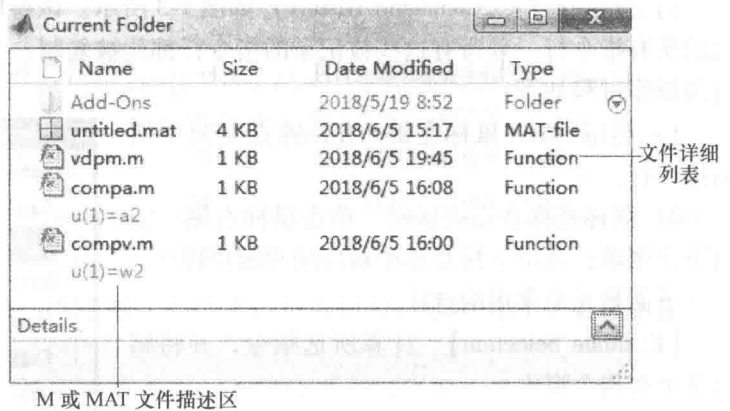


图 1-5 当前目录窗口

2. 用户目录和当前目录设置

用户可以将自己的目录永久地设置在 MATLAB 的搜索路径上，也可将自己的目录设置为 MATLAB 的当前目录。

(1) 建立用户目录 在 MATLAB 搜索路径上建立用户自己的目录，以存放自己创建的应用文件，并且在 MATLAB 开始工作时，将用户目录设置为当前目录。

用户目录设置为当前目录的方法有两种：

【方法一】

在 HOME 主页选项菜单底部如图 1-6 所示的“当前目录设置区”，直接填写待设置的目录名，或借助“当前目录设置区”左端的“浏览功能键”和鼠标选择待设置目录。



图 1-6 当前目录设置区

【方法二】

在指令窗中用指令设置，如在指令窗中输入：

```

>> mkdir fr           % <1>
>> mkdir f:\matdir fr % <2>
>> cd f: matdir\fr    % <3>
  
```

<1>为在当前目录下创建目录 fr；<2>在 f 盘父目录 matdir 下创建子目录 fr（matdir 不是当前目录）；并使其为 MATLAB 当前目录；<3>将 f 盘 matdir 下的子目录 fr 设为当前目录。

(2) 搜索路径的扩展和修改 用户可以根据需要修改 MATLAB 的搜索路径，如将多个不同的用户目录添加到 MATLAB 的搜索路径中，或调整搜索顺序等。

- 利用设置路径对话框修改路径。